

题目编号：DG-202601

面向月球基地建设的多机器人协同智能操作 比赛方案

一、发榜单位

中国航天科技集团有限公司第五研究院总体设计部

二、题目名称

面向月球基地建设的多机器人协同智能操作

三、题目介绍

（一）战略背景：月球基地建设的历史进程与迫切需求

月球是人类展开深空探测的第一块跳板。自上世纪 60 年代阿波罗登月计划起，人类就从未停止对这片冷寂之地的探索与想象。新世纪以来，随着火箭技术、敏捷制造与人工智能的爆发式突破，世界主要航天国家均将月球开发列入本世纪中叶的战略计划。美国防部高级研究计划局（DARPA）已资助多项月面就地资源利用第一阶段研究，欧空局（ESA）的 Moon Village 概念正逐步路线图清晰化，日本、印度、阿联酋等太空新兴国家也积极加入各类月球探测计划。人类重返月球并建设永久性月面设施，已从远景成为将对未来十年内展开的工程实践。

我国探月工程平稳推进，“绕、落、回”三步走战略已圆满收官。嫦娥五/六号任务实现了无人月面与月背的自动采样返回，

标志我国月面机器人系统的进一步成熟。依据《国家重大科技基础设施中长期发展规划（2021—2035年）》，我国将按照“勘、建、用”三阶段式发展战略推进月面开发事业：2030年前完成关键月面区域选址和勘察，2035年前初步建成具备研究功能的月面科研站，2045年前实现长期无人守候、短期有人维护的综合性月面科研设施的建成运营目标。为实现该目标，月面机器人系统是连接地月空间与月面实体的核心装备，将在基地选址勘察、模块化构建、资源开发利用及长期运维管理等全生命周期中扮演不可替代的角色。

（二）立题设计意义：面向工程应用的综合式知识创新

本题目以月球基地基础设施建设为核心场景，联通四项递进式任务，巧妙地映射了月面机器人工程层的工序耦合逻辑，在考验单项技术能力的同时，将异构多机协同与全流程自主化的作为进一步考察。具体而言：任务一（协同勘察）考查无基础设施条件下多机协同感知与建图能力；任务二（协同搬运）考查大尺寸设备的多机分工协同负载操作能力；任务三（协同组装）考查长序列工程任务下多机协同操作与精度提升能力；任务四（精细操作）考查单机精细化力位控制与插接检测的极限能力。四项任务完整覆盖了多机器人在模拟月表操作的全技术谱。参赛者需要展示的不仅是局部优化和平台，更必须面对多机协同的系统性难题。

（三）核心技术挑战：三大痛点与突破路径

月球基地建设的工程复杂性来自多重因素的叠加：超低温与超高温交替、高真空、强宇宙辐射、月尘附着特性、崎岖松软地形，以及最关键的地月单向通信时延与带宽约束，使得任何依赖地面实时遥控的运作模式难以高效实现。此些约束与任务复杂性共同产生了以下三个有待突破的核心技术痛点。

痛点一：非结构化环境下的强约束感知与自主导航。月面光照、阴影分布不均，导致单目相机特征匹配重复失效；GPS完全缺失且无外置定位基站，使得多机器人协同定位只能依靠自身传感器融合与相互观测；而且，远距离障碍物的实时检测与动态避障必须在固定计算功耗下达到毫秒级响应。如何将激光雷达、光学相机与惯性导航等异构传感器的信息在时延与特征不确定性条件下实现鲁棒融合并实现全场域协同勘察建图，是此痛点的核心科学问题。

痛点二：异构多机器人系统的时空协同控制。月球基地建设具有独特的异构属性：行进平台负责大范围机动与负载转运，机械臂平台负责精细操作，二者在动力学特性、运动控制周期和任务属性差异极大。传统的协同控制中心调度模式在月面通信时延与有限带宽环境下无法保证实时性。分布式协同框架成为必然选择，但其面临的底层挑战同样困难：异构机器人间的任务动态分配如何均衡负载与决策延迟，多机协同携载中部件的力平衡如何实现，线上多机避碰如何建模并实时求解是控制领域中尚未完全解决的重大问题。

痛点三：复杂物理约束下的精细智能操作。月球基地建设涉及从大尺寸桁架搬运到精密电连接器头插接的跨尺度作业，前者需要大负载下多机协同的整体相对位姿控制，后者则需要豪米级定位精度的力/位综合控制。如何找到鲁棒、实时、节能的力/位混合控制方案，并将其嵌入开路式嵌入式控制器，是目前场景系统性解决方案的技术痛点。

（四）任务场景：月球基地建设的工程层级与关键工序

月球基地建设给机器人系统带来的不是单一技能的简单重复，而是一条包含“环境感知—任务规划—协同操作—自主恢复”的长序列工程任务链。就其工程层次而言，月面基地建设的差异化工序可拆解为四个递进式阶段，也是本次竞赛的关键场景。

第一，未知场景协同勘察，未知场景协同勘察是月球基地设施建设的前置环节，要求多台月面作业机器人高效协同快速完成指定作业区域（约 $60\text{m}\times 30\text{m}$ ）的全面探测，同步完成三维模型重建，可直接用于后续任务路径规划与作业调度，可精准识别静态障碍及动态障碍（协同机器人），避障路径兼顾效率与安全性，无碰撞、无作业停滞。

第二，大尺寸设备协同搬运，大尺寸设备协同搬运要求多机器人分工协同，从指定设备存放区精准抓取设备，规避预设障碍，平稳转运至指定设备组装区域，转运过程中模块平稳，无掉落、碰撞及损坏。转运设备主要包括桁架模块和核源模拟

件模块，转运设备表面设置视觉标识，便于机月面作业机器人识别与抓取。在此过程中，要求实现设备搬运时序自主规划，合理分配机器人作业任务，避免任务冲突，提升搬运效率，与后续协同组装任务无缝衔接，无作业衔接空档。

第三，关键设施协同组装，关键设施协同组装要求在设备搬运完成后，多台月面作业机器人协同完成桁架模块的整体纵向组装，桁架通过特制螺钉锁紧，随后月面作业机器人将核源模拟模块安装至组装好的桁架上，此过程中桁架不发生倾覆。

第四，精细化灵巧操作，精细化灵巧操作要求作业机器人完成2组线缆的精准插接，线缆需从组装区域布设至精细操作区域，并完成插接，接头采用标准化密封设计，避免误插；插接后确认接头锁紧到位，无松动、接触不良，信号传输正常（模拟信号导通检测）。

参赛者需设计并研制多台月面作业机器人，在室外模拟月面环境（崎岖松软地形）条件下，完成未知场景协同勘察、大尺寸设备协同搬运、关键设施协同组装、精细化灵巧操作等四项核心任务，充分展示多机器人系统在月球基地建设场景中的综合作业能力。

四、参赛对象

学生赛道：2026年6月1日以前正式注册的国内全日制非成人教育的普通高等学校在校专科生、本科生、硕士和博士研究生（不含在职研究生），以及全日制职业教育本科、高职高

专在校学生，可通过学生赛道申报作品参赛。

参赛对象可以团队或个人形式参赛，每个团队不超过 10 人，每件作品可由不超过 3 名指导教师进行指导。可以跨专业、跨学校、跨单位、跨地域组队，但同一团队所有成员均应符合本赛道相关年龄、身份要求。每件作品只可由 1 所高等院校、科研院所或企业等作为参赛主体提交申报。

五、答题要求

初赛阶段，需完成机器人的调试，完成线上提交和线下比测，并根据参加比赛单位数量，最终确定进入擂台赛队伍；

擂台赛阶段，各参赛队伍继续完善设计、报告，并编写最终汇报 PPT。根据赛事进度、时间及场地条件，确定是否进行第二轮线下比测；若无第二轮线下比测，以初赛阶段线下比测评分依据。

本题目包含“线上提交”和“线下比测”两个阶段，参赛作品须全面满足以下要求，以确保评审顺利进行。

（一）线上提交阶段

参赛者须提供符合比赛要求的材料文档、机器人数字模型和源程序，具体要求如下。

（1）机器人设计报告（提交形式：PDF/Word 文档）

报告须系统阐述参赛作品的总体设计方案，内容包括但不限于：系统架构总览、关键技术指标及关键技术、技术创新点、测试验证结果等。

（2）机器人数字模型（提交形式：三维模型文件）

须提交参赛机器人的完整三维数字模型，推荐采用 STEP/IGES/STL 格式，包含机械结构全部零部件，清晰反映机器人本体尺寸及各关节配置，并附有详细技术参数说明文档（包含各轴自由度、关节运动范围、额定负载、关节峰值力矩等核心参数）。模型应与原型机实物保持高度一致性。

（3）源程序（提交形式：完整源代码压缩包）

须提交完整可运行的源代码，包含感知与建图、自主导航、多机任务调度、精细操作控制等全部核心模块，代码须附有必要注释和使用说明文档（包含运行环境配置、依赖库安装说明及各模块功能描述），确保评审专家能够理解算法逻辑与系统架构。推荐基于 ROS/ROS2 框架开发，并须在仿真环境中完成核心功能的初步验证。

（4）机器人测试视频（提交形式：视频文件）

须提交时长不少于 5 分钟的实验测试视频，清晰展示机器人具备完成核心任务的能力，视频分辨率不低于 1080P（1920×1080），需配有中文字幕，逐阶段说明当前任务目标、执行策略及完成情况。

（二）线下比测阶段

参赛者须在规定时间内、地点提交月面作业机器人原型机实物系统参加现场比测。原型机须满足以下硬件与功能要求：

（1）参赛机器人数量不少于2台，全部参赛机器人总重量之和不超过200kg。

（2）移动能力：机器人须能够在室外模拟月面（崎岖松软地形）环境中稳定行驶，具备越障能力，最大移动速度不低于5m/s，在松软地形中能保持正常行驶而不陷入或倾覆。

（3）操作能力：机器人须配备机械臂系统，末端负载能力不低于5kg，重复定位精度优于 $\pm 5\text{mm}$ ，工作空间须覆盖地面至机器人本体高度范围内的操作区域，能够完成对桁架模块和核源模拟模块的可靠抓取与平稳搬运。

（4）感知与导航能力：机器人须在不依赖外部定位基础设施（无GPS、无外置定位基站）的条件下，具备自主完成约60m×30m区域协同勘察与三维建图的能力，并能实时识别区域内静态及动态障碍物，实施有效避障。

（5）协同与自主能力：多机器人系统须具备任务自主分配与协同控制能力，能够在无人干预的条件下实现任务调度，同时具备对简单故障（如抓取失败重试、插接偏差修正）的自主复位与恢复能力，无任务冲突、无机器人碰撞。

参赛者必须保证作品的原创性，杜绝一切抄袭或剽窃行为，所提交作品不得侵犯任何第三方的知识产权。除参赛报名表外，各参赛组提交的文档、源代码和模型文件不得携带任何参赛单

位、选手的个人信息。参赛作品须具有完整性，文档等展示材料内容齐全、页面整洁、图标清晰、公式准确。

六、作品评选标准

本题目采用积分制进行综合评定，满分 200 分，分线上文档评审（100 分）和线下比测（100 分）两个环节，以两项之和作为最终得分。具体评分标准如下。

（一）线上文档评审（共 100 分）

（1）技术方案合理性（40 分）

重点考察参赛方案系统架构设计的合理性、各子系统技术路线的科学性与可行性，以及整体方案对题目三大技术挑战（感知导航、协同控制、精细操作）的覆盖程度与解决思路的完备性。技术方案中须包含清晰的系统框图、模块划分说明及关键技术指标预估。40~35 分：方案完整、逻辑严密、技术路线先进可行，关键指标明确；35~30 分：方案较完整，逻辑基本清晰，技术路线合理；30~25 分：方案基本可行但有明显缺漏；25 分及以下：方案不完整或技术路线存在重大缺陷。

（2）技术创新性（40 分）

考察参赛作品在感知算法、协同控制、精细操作等核心技术方面的创新程度，包括但不限于：新型多机感知融合算法、月面特殊环境（低重力、月尘、大温差）适应性设计创新、精细操作的力控与柔顺策略创新，以及低时延多机协同通信架构创新等。40~35 分：创新点突出，具有较高学术价值或工程应

用价值；35~30分：有一定创新但技术方案相对成熟；30~25分：创新性一般，主要依赖现有成熟技术；25分及以下：无明显创新。

（3）报告规范性与完整性（20分）

考察设计报告的格式规范性（是否符合模板要求、结构完整）、内容完整性（须涵盖系统设计、关键算法说明、实验数据、误差分析等核心内容）及测试视频的清晰度与内容完整性。20~15分：报告格式规范、结构完整、内容详实，视频清晰完整；15~10分：报告基本规范，内容有少量缺漏；10分及以下：报告格式不规范或内容有重大缺漏。

（二）线下比测评分（共100分）

线下比测按4项任务逐项评分，每轮比赛有2次从停放区域出发的机会，以得分高的一次成绩作为最终成绩；若得分相同，则以完成任务耗时较少者名次在前。

（1）未知场景协同勘察（15分）

多机器人从停放区域出发，协同完成约60m×30m指定区域的全面探测与三维模型重建，同步识别区域内静态障碍及动态障碍（协同机器人），无碰撞、无作业停滞。评分细则：成功完成全区域（100%）覆盖并生成精度可用的三维地图，得12~15分；完成80%及以上区域覆盖，得8~11分；完成50%及以上区域覆盖，得4~7分；完成50%以下区域覆盖，得0~

3 分。同分情况下，以覆盖效率、避障连续性及三维建图精度作为次要评判依据。

（2）大尺寸设备协同搬运（15 分）

多机器人从设备存放区依据视觉标识精准抓取桁架模块和核源模拟模块，规避预设障碍，将设备平稳转运至指定组装区域，并按要求放置就位，转运过程中无掉落、无碰撞、无损坏。评分细则：完成桁架模块搬运并精准放置，得 8 分；完成核源模拟模块搬运并精准放置，得 7 分；每发生 1 次掉落、碰撞或损坏事件，酌情扣 1~3 分；搬运完成但放置位置偏差超出容许范围，酌情扣 1~2 分。

（3）关键设施协同组装（35 分）

多台机器人协同完成桁架模块的整体纵向组装，随后将核源模拟模块安装至已组装好的桁架上，全程桁架不发生倾倒。评分细则如下：

a. 桁架模块纵向组装（20 分）：成功完成桁架所有模块的纵向组装且全部锁紧牢固，得 16~20 分；组装完成但未锁紧到位，得 10~15 分；桁架组装过程中发生 1 次倾倒，扣 5 分；发生 2 次及以上倾倒，本项得 0 分。

b. 核源模拟模块放置与安装（15 分）：成功将核源模拟模块安装至桁架上、定位准确且连接稳固，得 12~15 分；安装完成但存在位置偏差或固定不牢，得 7~11 分；安装过程中导致桁架再次倾倒，本项得 0 分。

(4) 精细化灵巧操作与任务完成 (35 分)。

机器人携带线缆及电连接器从组装区域出发，沿规定路径布设至精细操作区域，并完成两组线缆操作，具体评分细则如下：

a. 线缆及电连接器搬运 (10 分)：成功携带电缆及电连接器至精细操作区域，得 8~10 分；仅完成一组线缆及电连接器搬运，得 4~7 分；未完成搬运或中途掉落，得 0~3。

b. 线缆及电连接器接插操作 (15 分)：完成 2 组线缆的精准插接，接头采用标准化密封设计，确保插接到位、锁紧无松动、信号导通正常。评分细则：完成 2 组线缆插接且全部导通验证正常，得 12~15 分；完成 1 组线缆插接且导通正常，得 6~8 分；插接完成但导通验证异常，酌情扣 2~4 分。

c. 返回机器人停放区域 (10 分)，完成全部任务后在规定时间内返回停放区域，得 8~10 分；未返回指定区域，得 4~7 分。

七、作品提交时间

2026 年 5 月至 9 月上旬，各参赛团队选择榜单中的题目开展研发攻关，各高校、企业、科研机构等组织协调机构应组织学生和青年科技工作者参赛，安排专业人员给予指导，为参赛团队提供支持保障。

2026 年 9 月 15 日前，各参赛团队要向发榜单位完成作品提交，具体要求详见本方案第八点第 (二) 款，并严格遵照发榜

单位明确的提交规范执行。

2026年9月30日前，由发榜单位完成初审，确定入围终审擂台赛的晋级作品和团队。

2026年10月，发榜单位安排专门团队提供帮助和指导，各晋级团队完善作品。

2026年11月，组织终审擂台赛，角逐“擂主”。

八、参赛报名及作品提交方式

（一）报名方式

（1）参赛选手登录“挑战杯”官网 www.tiaozhanbei.net，在“揭榜挂帅”擂台赛报名入口注册账号，登录大赛申报系统在线填写报名信息。报名信息提交后，下载打印系统生成的报名表。

（2）申报人在报名表对应位置加盖所在学校或所在单位公章。

（3）将盖章版报名表扫描件上传至报名系统，等待系统审核。请参赛选手注意查看审核状态，如审核不通过，需重新提交。

（4）系统开放报名时间为2026年5月30日—6月30日，逾期后系统将自动关闭报名功能。

（二）作品提交方式

线上提交：参赛团队将作品相关文档材料、源代码和模型文件以压缩包格式邮件发送到主办方邮箱（wangchu711@126.com），并标注好队伍名称信息。压缩

包命名方式为：申报人所在单位-申报人姓名-作品名称-联系电话（例如：XX 大学-张 XX-XX 方案-手机号）。

提交具体作品时，务必一并提交 1 份报名系统中审核通过的参赛报名表（所有信息与系统中填报信息保持严格一致）。

参赛团队除将申报作品统一交至上述发榜单位电子邮箱外，还需要统一打包压缩提交至大赛申报系统，压缩包命名方式为：申报人所在单位-申报人姓名-作品名称-联系电话（例如：XX 大学-张 XX-XX 方案-手机号）。

线下提交：根据比赛安排提交机器人原型机作品（比赛时间和场地另行通知）。

九、赛事保障

（一）基础条件保障

中国航天科技集团有限公司第五研究院总体设计部（以下简称“总体设计部”）将为参赛团队提供研究过程中必要的任务场景资源，包括模拟月面地形测试场地，供参赛团队开展系统调试与功能测试。待揭榜单位确定后，发榜单位将及时告知具体调试与测试时间及地点，并做好相关接待工作。

（二）企业指导专家支持

总体设计部将组建由空间机器人领域资深工程师和科研人员组成的参赛指导专家团队，在比赛全程给予技术指导。专家团队将详细介绍选题的工程背景与技术细节要求，包括

月面环境特性参数、设备接口规范及评分规则解读；定期开展线上技术答疑，及时解答参赛团队的疑问；并计划组织不少于 2 次线下技术交流活动（疫情等不可抗力因素除外），帮助参赛团队把握技术方向、明确攻关路径。

（三）数据与资料支持

总体设计部将在许可范围内向参赛团队提供相关背景技术资料，包括月面环境模拟参数、参赛设备三维参考模型文件（桁架模块、核源模拟模块及线缆接头的 CAD 模型）及历史任务数据摘要，供参赛团队参考使用，为技术攻关提供数据支撑。

十、设奖情况及奖励措施

（一）设奖情况

学生赛道设置擂主 1 名，特等奖 5 名，一等奖 5 名，二等奖 5 名，三等奖 5 名。具体奖项数量根据实际参赛团队数量调整。

（二）奖励措施

擂主奖金 10 万元/队。

学生赛道：特等奖（不含擂主）2 万元/队，一等奖 1 万元/队，二等奖 0.5 万元/队，三等奖 0.2 万元/队。

对于选择本题目的学生可优先安排暑期实习，实习期间提供科研津贴和食宿保障。特等奖获奖团队应届毕业生参加校园招聘时，符合应聘条件者，通过“绿色通道”直接进入面

试环节，同等条件下可优先录用；同时可为获奖团队的青年教师提供产学研合作平台，深度参与空间机器人研发项目。

（三）奖金发放方式

比赛结束后，待团中央统一发放获奖证书后，发榜单位比赛专班工作人员将主动与获奖团队取得联系，由获奖团队填写奖金申请表并提供银行卡详细信息（开户行、账号、账户名称等），发榜单位将于收到完整银行信息后30日内，以银行转账方式将奖金一次性发放至获奖团队指定银行卡中。

十一、比赛专班联系方式

（一）专家指导团队

指导专家信息待揭榜确认后补充公布。专家团队在比赛全程工作日9:00—17:00保持电话畅通，承诺接到咨询后及时接听、耐心解答负责比赛期间技术指导保障。

（二）赛事服务团队

联络专员：王储老师，联系电话：13466627735，邮箱：wangchu711@126.com

联络专员：王皓老师，联系电话：15011512711，邮箱：475933137@qq.com

负责比赛期间组织服务及后期相关赛务协调联络。

（三）联系时间

比赛期间工作日（9:00-17:00）

附：发榜单位简介

中国航天科技集团有限公司第五研究院总体设计部（北京空间飞行器总体设计部）成立于1968年8月16日，是我国成立最早、从事总体领域最多、专业技术储备最齐备的空间飞行器研制总体单位。作为五院宇航重大工程任务的抓总单位，总体设计部不仅承担着载人航天、空间科学与深空探测、太空态势感知、在轨维修与在轨制造等宇航总体业务的经营管理职责，更是国家重大航天任务的责任主体。截止目前，共抓总研制并成功发射了180余个航天器，见证了我国航天事业的历史性跨越，孕育了以我国第一颗人造地球卫星“东方红一号”、第一艘载人飞船“神舟五号”、第一颗月球探测卫星“嫦娥一号”为代表的航天事业发展三大里程碑。此外，总体设计部还创造了“嫦娥三号”首个月面软着陆与巡视勘察、“嫦娥四号”首次人类月背软着陆和巡视勘察、“嫦娥五号”首次月壤自动采样和携带返回、“天问一号”一次任务实现火星“绕、着、巡”、以及中国空间站全自主研制建成等一系列辉煌壮举，为国家重大专项工程作出了突出贡献，取得了显著的社会效益和经济效益。在人才培养与科研攻关方面，总体设计部走出了以2位“两弹一星”功勋奖章获得者、9位两院院士为代表的一大批空间技术领军人才。先后荣获国家科技进步特等奖8项、创新团队1项和一等奖7项，中国专利金奖3项、省部级一等奖50项及一系列其他科技成果奖励，是推动我国空间技术发展的中坚力量。